

# ИЗСЛЕДВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ В ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНА СИСТЕМА НИСКО НАПРЕЖЕНИЕ

Светлана Цветкова, Ангел Петлешков,  
Георги Жегов, Ваня Петрова

*Резюме:* В доклада са дадени и анализирани резултати от изследване на качеството на електрическата енергия в електроснабдителна система ниско напрежение, захранваща предимно битови консуматори. Направено е сравнение на измерените показатели за качество на електрическата енергия, със съответните нормативни документи, както и статистическа обработка на измерените стойности на отклонението на напрежението и е получен закона на разпределение.

*Ключови думи:* качество на електрическата енергия, битови консуматори, статистическа обработка.

## STUDY OF THE ELECTRICAL ENERGY QUALITY IN ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM LOW VOLTAGE

Svetlana Tzvetkova, Angel Petleshkov,  
Georgi Zhegov, Vania Petrova

*Abstract:* The results from a study of the quality of electrical energy in low voltage power supply system, supplied predominantly domestic consumers, are presented and analyzed in the paper. Also has been made a comparison of measured power quality indexes, relevant regulations. An statistical processing of the measured values of the voltage deviation and a law of distribution is received.

*Keywords:* electrical energy quality, domestic consumers, statistical data processing.

### 1. Въведение

Осигуряването и поддържането на качеството на електрическата енергия е основно задължение на електроснабдителните предприятия. От друга страна, потребителите са в правото си да изискват и получават качествена електрическа енергия, като имат задължението чрез своите консуматори и режимите им на работа да не влошават показателите за качество на електрическата енергия в електроснабдителните системи.

В доклада са дадени и анализирани резултати от изследване на качеството на електрическата енергия в електроснабдителна система ниско напрежение, захранваща предимно битови консуматори. Направено е сравнение на измерените показатели за качество на електрическата енергия, със съответните нормативни документи [1, 2, 3]. Направена е статистическа обработка на измерените стойности на отклонението на напрежението и е получен закона на разпределение.

## **2. Контролни точки на измерване и използвана апаратура**

Измерванията са проведени на територията на с. Волуяк в две контролни точки (к. т.), представляващи отклонения от мрежа ниско напрежение 0,4/0,23kV, в които са присъединени потребителите чрез електрически табла, разположени на уличните стълбове:

- к. т. 1 е точка на присъединяване на потребители към електрическо табло, разположено на уличен стълб №11 на ул. „Диляна”;
- к. т. 2 е точка на присъединяване на потребители към електрическо табло, разположено на уличен стълб №32 на ул. „Дълга поляна”.

Захранваните консуматори основно са битови - енергоспестяващи лампи, телевизори, компютърна техника и друга електронна техника.

Измерванията са проведени с трифазен анализатор на качеството на електрическата енергия Meg30 [4], който дава възможност за измерване, изчисляване, запис и анализ на всички електрически величини и показателите за качеството на електрическата енергия в трифазни четири и петпроводни електрически системи ниско напрежение, съгласно БДС EN 50160 [2]. Получената информация от измерванията е обработена със специализиран софтуер.

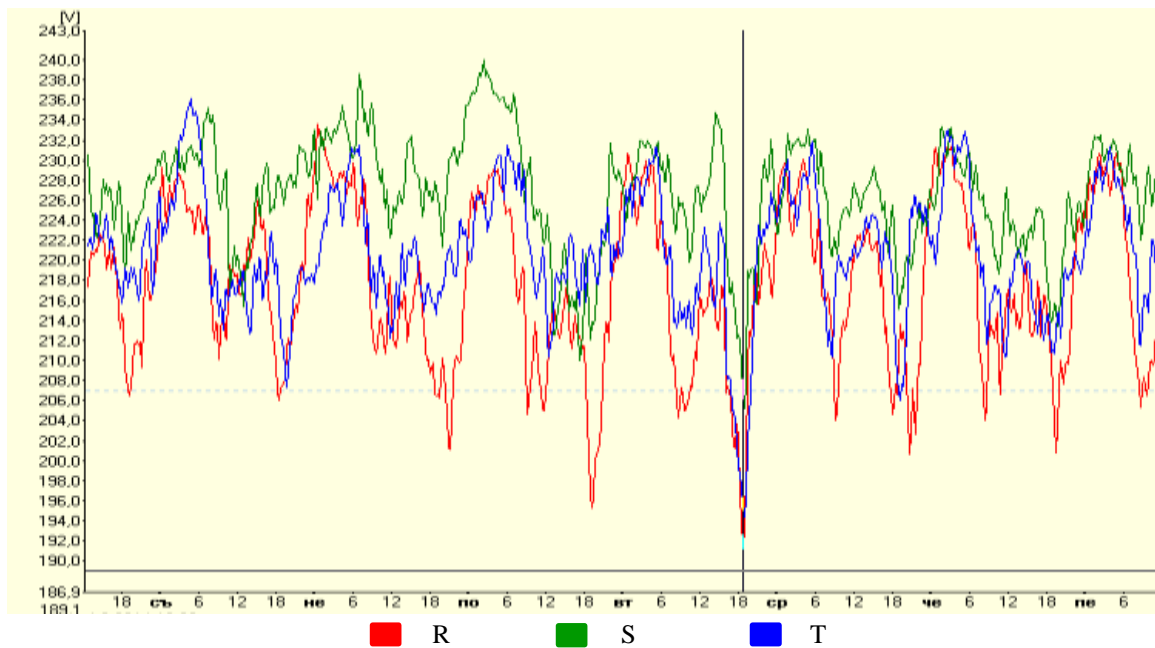
Измервателният уред е присъединен към трите фази. Измерванията се осъществяват чрез ампер клещи и сонди за напреженов сигнал. Периодът на измерване е 1 седмица с интервал от време за осредняване на измерванията от 10 минути.

## **3. Изследване на качеството на електрическата енергия в к. т. 1**

Изследването е проведено в периода от 12,30 часа на 28.02.2014 г. до 11.10 часа на 07.03.2014 г.

От записаните данни от уреда се вижда, че честотата на захранващото напрежение за периода на измерване е почти постоянна, като нейната средна стойност за целия период на измерването е 50 Hz. Максималната стойност на честотата е 50.06 Hz, а минималната е 49.93 Hz. Максималното отклонение на честотата е -0,07 Hz (-0,14%). Следователно в 100% от измерванията, измерените стойности на честотата на захранващото напрежение напълно отговарят на нормата от  $50\text{Hz} \pm 1\%$  (49,5 Hz до 50,5 Hz), дадена в [1, 2].

На фиг. 1 е показано изменението на ефективните стойности на фазните напреженията за периода на измерване – за фази R, S и T.



Фиг. 1. Ефективни стойности на фазните напрежения в к. т. 1

В Таблица 1 са дадени минималната и максималната стойност на фазните напрежения. Максималното отклонение на напреженията е съответно: -16,9% за фаза R, -10% за фаза S и -15% за фаза T.

От експерименталните данни се вижда, че отклонението на напрежението е извън допустимия диапазон за фаза R в 11,1% от случаите, за фаза S само в 0,3% от случаите и за фаза T в 2,2% от случаите. Следователно стойностите на напреженията на фаза S и фаза T за 95%

от периода на измерване са в допустимия диапазон  $\pm 10\% U_N$  (от 207 до 253 V), регламентиран в БДС EN 50160. Отклонението на напрежението на фаза R не отговаря на изискванията, тъй като само в 88,9% от случаите е в допустимия диапазон.

За оценка на средната стойност на захранващото напрежение е направена статистическа обработка на измерените стойности за фази R, S и T.

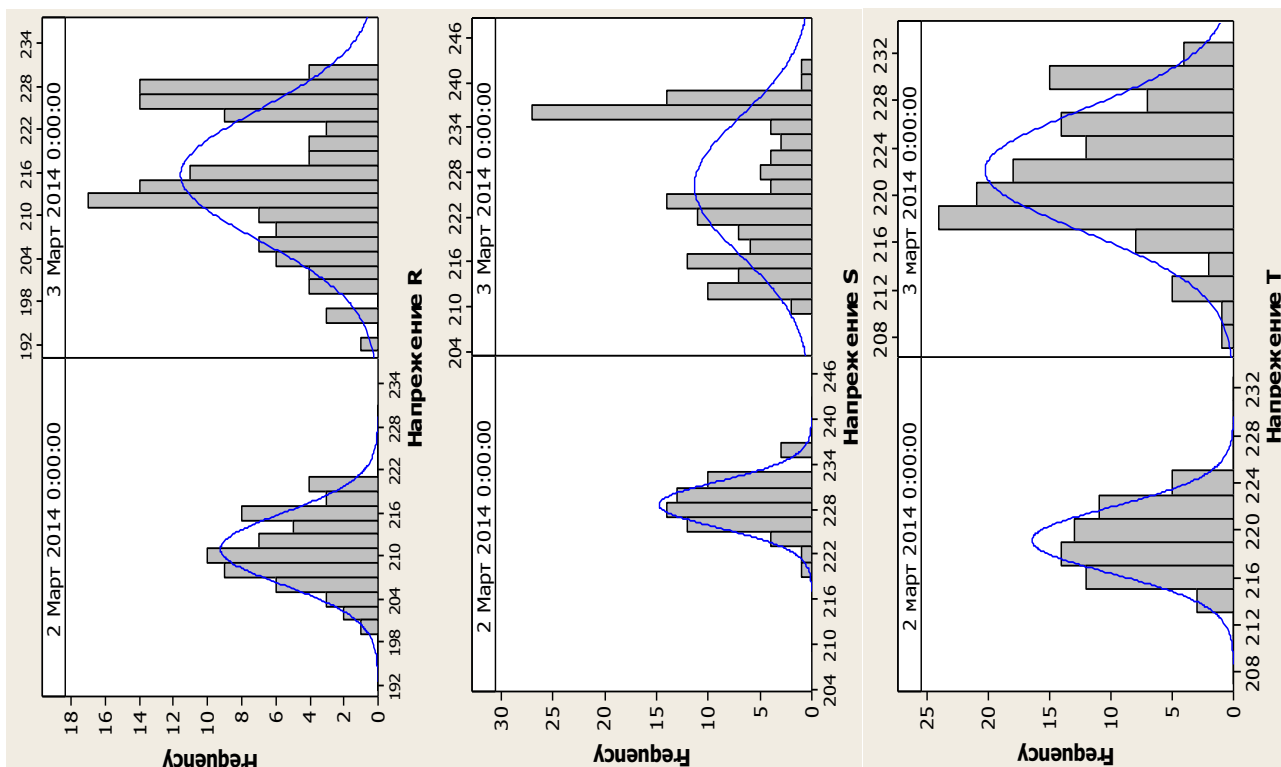
Разглежда се периода от 02.03.2014 г. до 03.03.2014 г. Това са работен и неработен ден, като целта е да се анализира захранващото напрежение в дни с различно натоварване. На фиг. 2 са показани хистограми на напрежението за всеки от двата дни по фази. На фиг. 3 са показани хистограмите на напрежението общо за двата дни. Обемът на извадката е  $N=190$  стойности.

От извършения анализ може да се обобщи, че в неработен ден разпределението на отклонението на напрежението е по-близо до нормално разпределената случайна величина, отколкото в работен ден за изследваната контролна точка.

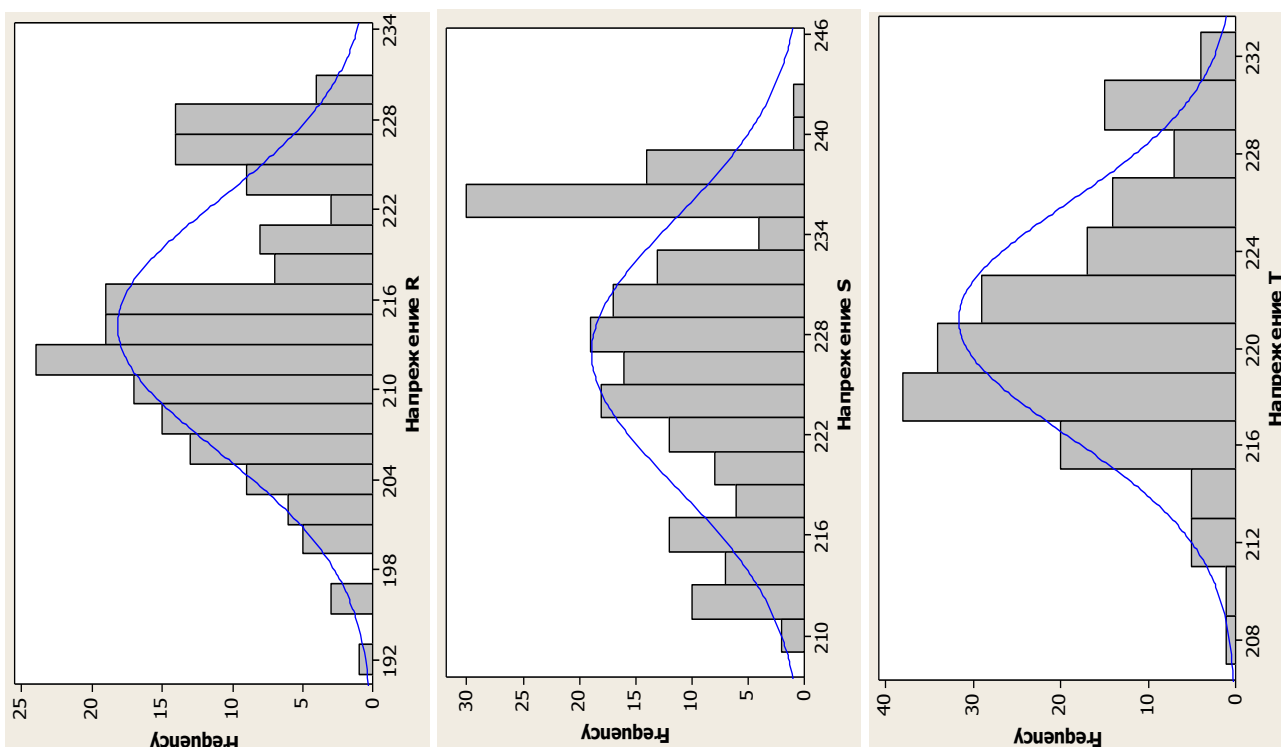
В Таблица 2 са дадени определените средни стойности  $U_{cp}$  и средноквадратично отклонение  $\sigma$  на захранващото напрежение за всеки от разглежданите дни и общо за двата дни.

Таблица 1

Величина	Фаза	Стойност	
		Минимална	Максимална
U, V	R	191,2	233,6
	S	206,9	241,9
	T	195,6	236,3



Фиг. 2. Гистограми на напрежението по фази за 02.03 и 03.03.2014 г.



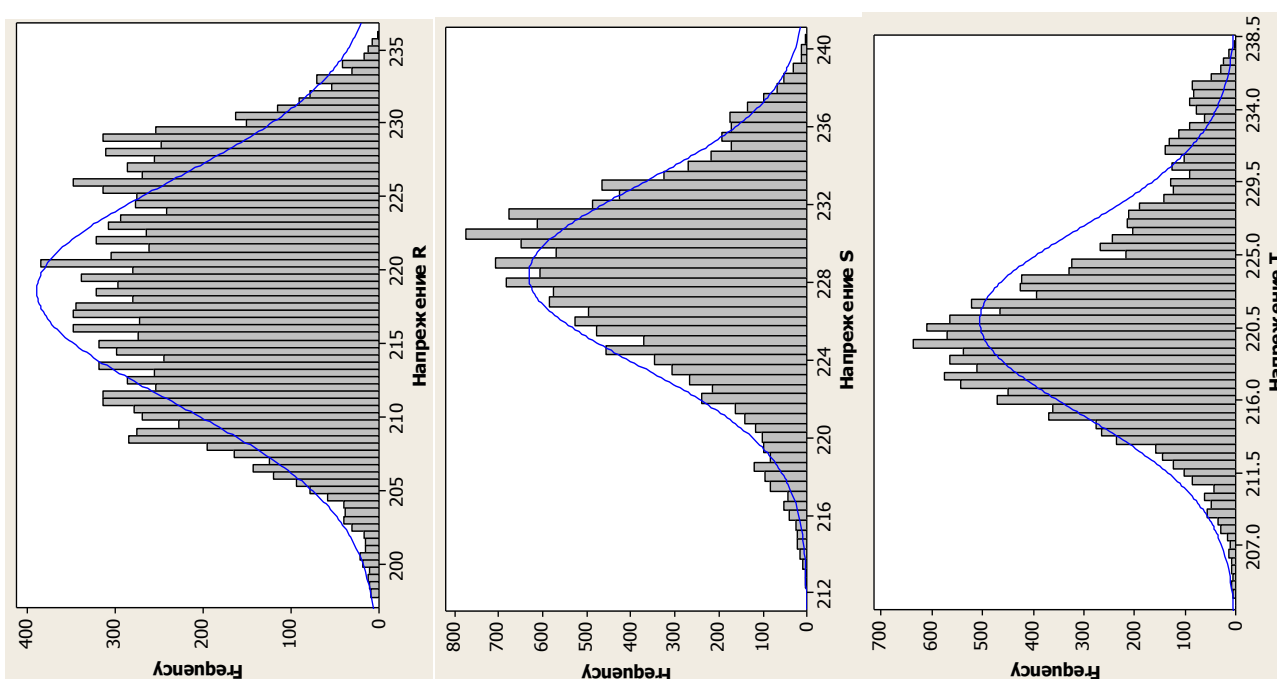
Фиг. 3. Гистограми на напрежението по фази общо за двата дни

На фиг. 4 са показани хистограми на захранващото напрежение за целия период на измерване от 28.02.2014 до 07.03.2014 г., като са използвани всички записани стойности – извадка от N=14655 стойности. И в този случай може да се приеме, че разпределението на напрежението е най-близко до нормалното разпределение.

Таблица 2

	02.03.2014 г.			03.03.2014 г.			общо за 02.03 и 03.03.2014 г.		
	фаза R	фаза S	фаза T	фаза R	фаза S	фаза T	фаза R	фаза S	фаза T
$U_{cp}$ , V	211	228,7	219,1	215,6	226,1	222,1	214,2	226,9	221,2
$\sigma$ , V	5,012	3,138	2,817	9,103	9,306	5,193	8,347	8,024	4,788
N, броя	58	58	58	132	132	132	190	190	190

В Таблица 3 са дадени определените средни стойности  $U_{cp}$  и средноквадратично отклонение  $\sigma$  на захранващото напрежение за целия период на измерване.



Фиг. 4. Хистограми на на напрежението за целия период на измерване

Краткотрайни спадания и пренапрежения на захранващото напрежение не се наблюдават.

Измерените стойности на несиметрията на напрежението са в диапазона от 0,2 до 3,45%. Измерени са само 0,9% стойности на несиметрията на напрежението, които са по-големи от допустимата стойност от 2%. В 99,1% от периода на измерване, измерените стойности са в допустимия диапазон.

Таблица 3

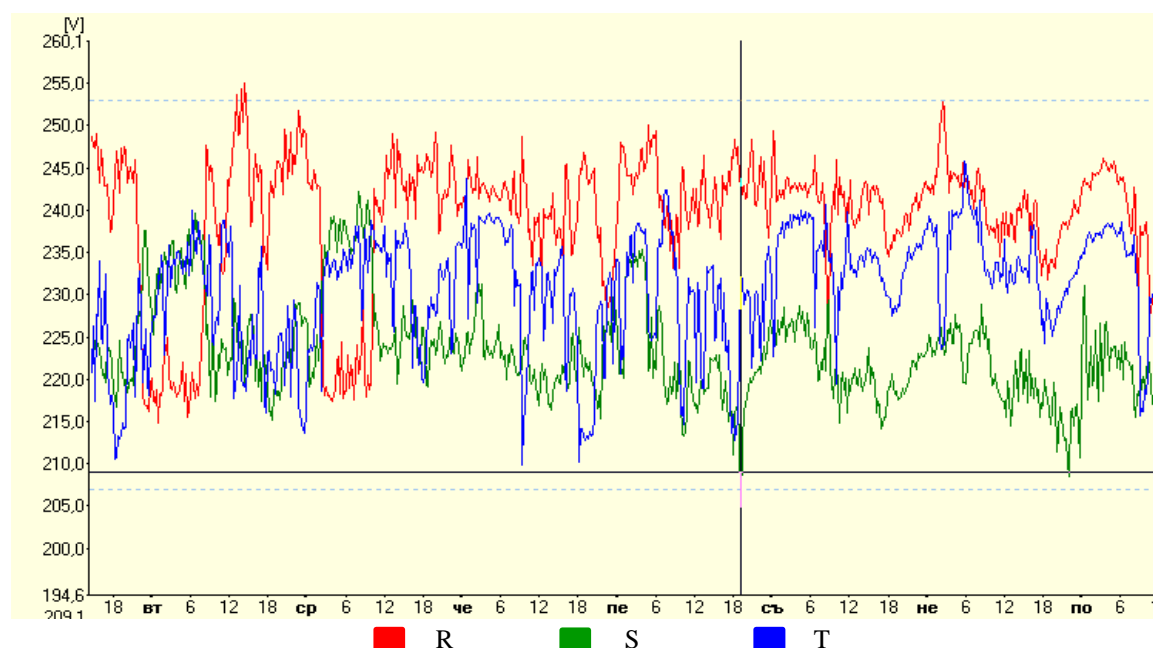
	фаза R	фаза S	фаза T
$U_{cp}$ , V	218,6	228,4	220,9
$\sigma$ , V	7,520	4,632	5,775
N, броя	14655	14655	14655

#### 4. Изследване на качеството на електрическата енергия в к. т. 2

Изследването е проведено в периода от 14,30 часа на 30.12.2013 г. до 12.10 часа на 06.01.2014 г.

Честотата на захранващото напрежение за периода на измерване е почти постоянна, със средна стойност за периода на измерване 50 Hz. Максималната стойност на честотата е 50.05 Hz, а минималната е 49.95 Hz. Максималното отклонение на честотата е 0,05 Hz (0,1%). Следователно 100% от измерените стойности на честотата на захранващото напрежение са в допустимата норма от  $50\text{Hz} \pm 1\%$  (49,5 Hz до 50,5 Hz) [1, 2].

На фиг. 5 е показано изменението на ефективните стойности на фазните напрежения за периода на измерване – за фази R, S и T.



Фиг. 5. Ефективни стойности на фазните напрежения в к. т. 2

В Таблица 4 са дадени минималната и максималната стойност на фазните напрежения. Максималното отклонение на напрежението е: 11,4% за фаза R, -10,6% за фаза S и 6,9% за фаза T.

От експерименталните данни се вижда, че отклонението на напрежението е извън допустимия диапазон за фаза R в 0,5% от случаите, за фаза S в 0,2% от случаите и за фаза T в 0% от случаите. Следователно стойностите на напреженията и на трите фази за 95% от периода на измерване са в допустимия диапазон  $\pm 10\% U_N$  (от 207 до 253 V), регламентиран в БДС EN 50160.

Краткотрайни спадания и пренапрежения на захранващото напрежение не се наблюдават.

Краткотрайните изменения на напрежението се оценяват по стойността на фликера и неговата строгост за дълъг интервал от време  $P_{It}$ .

Таблица 4

Величина	Фаза	Стойност	
		Минимална	Максимална
U, V	R	214,5	256,2
	S	205,6	243,6
	T	208,7	246,0

Таблица 5

Величина	Фаза	Стойност	
		Минимална	Максимална
$P_{It}$	R	0,24	1,00
	S	0,96	2,08
	T	0,35	1,26

В Таблица 5 са дадени минималната и максималната стойност на фликера за отделните фази. Вижда се, че в 0% за фаза R, в 33,3% за фаза S и в 33,3% за фаза T измерените стойности на фликера са над допустимата стойност 1, нормирана в БДС EN 50160. Следователно, стойностите на фликера, с изключение на фаза R са извън допустимата норма (95% от стойностите не трябва да надвишават 1), което е предпоставка за влошаване на качеството на захранващото напрежение и от тук нормалната и пълноценна работа на електрическите съоръжения на захранваните потребители.

Измерените стойности на несиметрията на напрежението са в диапазона от 0,22 до 3,13%. 20,7% от измерените стойности на несиметрията на напрежението са над допустимата стойност от 2%, и само 70,9% са в допустимия диапазон (при норма от 95% от стойностите).

Измерените стойности на общото хармонично изкривяване на фазните напрежения е в диапазона от 2,62% до 5,14% за фаза R, от 2,61% до 5,79% за фаза S и от 3,47% до 6,11% за фаза T. Следователно в 100% от случаите големината на общото хармонично изкривяване на захранващото напрежение не превишава допустимата норма от 8%.

В Таблица 6 и Таблица 7 са дадени съответно измерените максимални стойности на нечетните и на четните хармоници на напрежението, както и допустимата им стойност. Всички измерени стойности, на хармониците на напрежението, с изключение на 3<sup>ти</sup> и 15<sup>ти</sup> хармоник, са много по-ниски от допустимите норми дадени в БДС EN 50160.

Таблица 6

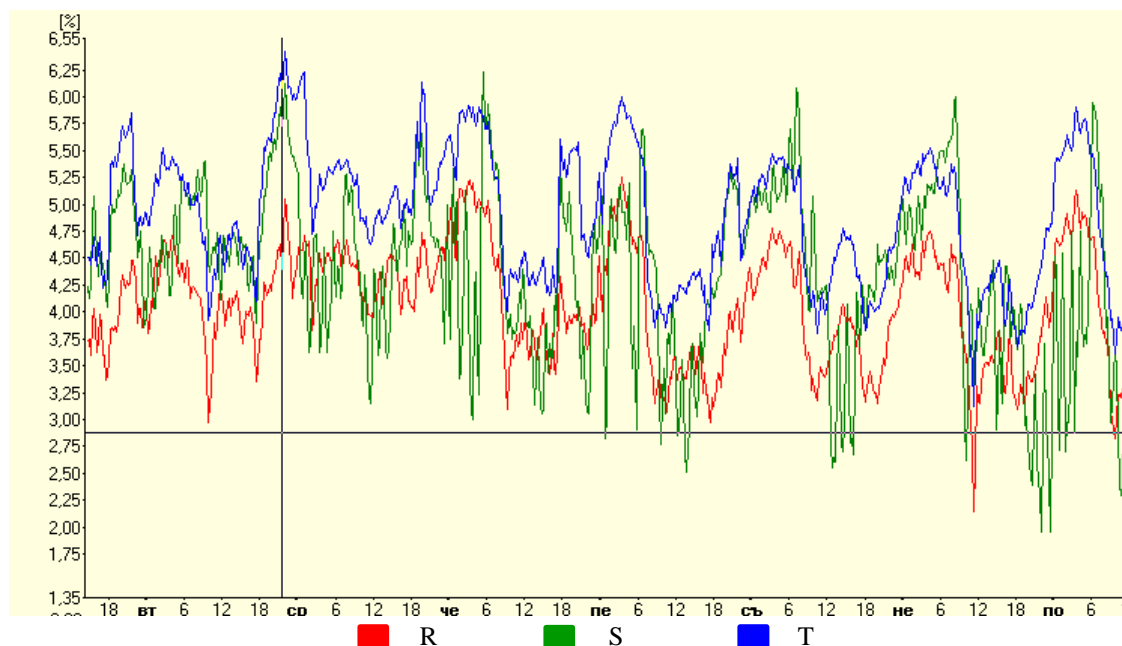
Хармоник	Допустима стойност по БДС EN 50160, %	Максимална измерена стойност, %		
		R	S	T
3	5,0	<b>5,15</b>	<b>5,73</b>	<b>6,07</b>
5	6,0	1,20	2,10	1,30
7	5,0	1,10	0,90	1,05
9	1,5	1,00	1,25	1,00
11	3,5	0,70	1,05	0,85
13	3,0	0,55	0,60	0,45
15	0,5	<b>0,75</b>	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>
17	2,0	0,30	0,25	0,20
19	1,5	0,25	0,25	0,30
21	0,5	0,20	0,25	0,15
23	1,5	0,20	0,20	0,15
25	1,5	0,20	0,20	0,20

Таблица 7

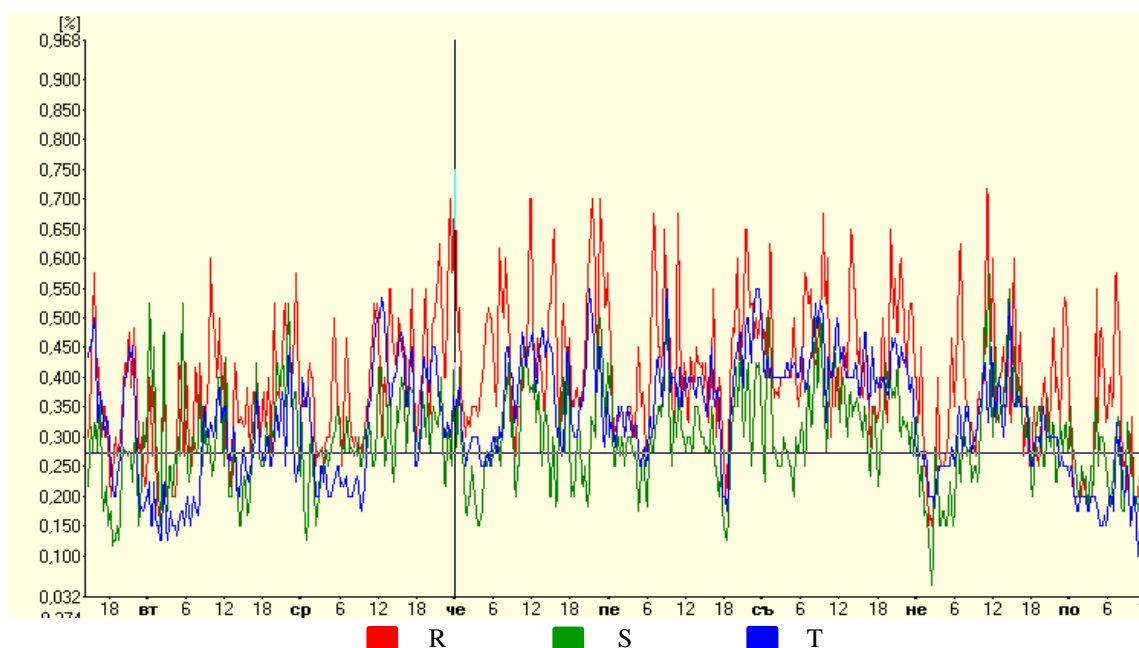
Хармоник	Допустима стойност по БДС EN 50160, %	Максимална измерена стойност, %		
		R	S	T
2	2	0,10	0,20	0,20
4	1	0,10	0,15	0,15
6	0,5	0,05	0,10	0,05
8	0,5	0,25	0,10	0,25
10	0,5	0,25	0,15	0,15
12	0,5	0,20	0,15	0,10
14	0,5	0,15	0,20	0,10
16	0,5	0,10	0,05	0,15
18	0,5	0,05	0,10	0,05
20	0,5	0,05	0,05	0,05
22	0,5	0,10	0,05	0,05
24	0,5	0,10	0,10	0,10

На фиг. 6 е показано изменението на 3<sup>ти</sup> хармоник на напрежението, а на фиг. 7 – на 15<sup>ти</sup> хармоник на напрежението. От направеното измерване се

установи, че измерените стойности на 3<sup>ти</sup> хармоник в 3,8% от случаите за фаза R, в 26,5% за фаза S и в 46,3% за фаза T са по-големи от нормата от 5% дадена в БДС EN50160. Измерените стойности на 15<sup>ти</sup> хармоник в 15% за фаза R и в 1,7% за фаза S и фаза T са по-големи от нормата от 0,5%.



Фиг. 6. 3<sup>ти</sup> хармоник на напрежението



Фиг. 7. 15<sup>ти</sup> хармоник на напрежението

## 5. Заключение

И в двете контролни точки, в които са проведени измерванията има несъответствие между измерените стойности на показателите за качество на електрическата енергия и нормите регламентирани в БДС EN 50160. В к. т. 1 извън норми е отклонението на напрежението на първа и трета фаза. В к. т. 2 извън норми са четири показателя - отклонение на напрежението, фликер,



несиметрия на напрежението и несинусоидалност по отношение на нивата на 3<sup>ти</sup> и 15<sup>ти</sup> хармоник на напрежението.

Стойности на показателите за качеството на електрическата енергия извън нормите могат значително да нарушат работата на повечето битови консуматори. На основата на направените измервания и анализ могат да се направят следните препоръки:

- част от битовите потребители да бъдат захранени от друг трафопост, или да се увеличи мощността на захранващия трансформатор;
- да се увеличи сечението на проводниците на захранващата мрежа;
- по-добро симетриране на товара между отделните фази.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Цанев Ц., С. Цветкова, *Качество на електрическата енергия*, София, Авангард Прима, 2011.

[2] БДС EN 50160 „Характеристика на напрежението на електрическата енергия доставяна от обществените разпределителни електрически системи”, 2010.

[3] БДС EN 61000-2-2 „Електромагнитна съвместимост (ЕМС) Част 2-2: Околна среда. Нива на съвместимост за нискочестотни кондуктивни смущаващи въздействия и пренасяне на сигнали в обществени захранващи системи ниско напрежение”, 2004.

[4] БДС EN 61000-4-30 „Електромагнитна съвместимост (ЕМС). Част 4-30: Методи за изпитване и измерване. Методи за управляване качеството на електрическата енергия”, 2015.

[5] Tzvetkova S., V. Tzvetkova, *Electric Energy Quality in Low Voltage Electricity Supply System*, 12<sup>th</sup> International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems ELMA 2008, 16-18 October 2008, pp. 182-185.

**Автори:** Светлана Цветкова, доц. д-р – катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, *email:* [stzvet@tu-sofia.bg](mailto:stzvet@tu-sofia.bg); Ангел Петлешков, ас. – катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, *email:* [apetl@tu-sofia.bg](mailto:apetl@tu-sofia.bg); Георги Жегов, инж. – катедра „Електроснабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт“, *email:* [gjegov@tu-sofia.bg](mailto:gjegov@tu-sofia.bg); Ваня Петрова, инж, ПГЖТ „Н. Вапцаров“, *email:* [vaniatzvet@abv.bg](mailto:vaniatzvet@abv.bg).

**Постъпила** на 19.09.2015 г.

**Рецензент:** доц. д-р Н. Матанов